ブリューワー分光光度計用
レーザー光軸調整システム

伊藤 真人*

He-Ne and He-Cd Laser System for Optical Alignment of Brewer Spectrophotometer

Mahito ITO

Abstract

The Aerological Observatory completed new optical alignment systems for accurate optical alignment of Brewer spectrophotometers in the Japan Meteorological Agency (JMA) network. The systems consist of a Helium-Neon (632.8nm) laser system with a beam expander, an optical bench, a laser holder and adjusters, a Helium-Cadmium (441.6/325.0nm) laser system with a lens unit, and a turntable with adjustable feet for leveling. 1) The He-Ne (632.8nm) system is useful for aligning all MKII optics from foreoptics to photomultiplier, and MKIII optics from foreoptics to the tilted lens. 2) The 441.6nm laser of the He-Cd system can align MKII and MKIII optics from foreoptics to the tilted lens. The 325.0nm laser of the same system can align all MKII and MKIII optics with high accuracy. No difference was observed in laser beam axes between 441.6nm and 325.0nm lasers when the switching shutter was operated. The 325.0nm laser is useful for measuring wavelength shift, optical resolution, and stray light. 3) The turntable can align the foreoptics and the spectrometer with their laser systems.

１．はじめに

ブリューワー分光光度計(Brewer Spectrophotometer：以下 Brewer と呼ぶ)は，太陽光を回折格子で分光し，太陽を自動追尾しながら波長別紫外域日射量やオゾン・二酸化硫黄全量などを観測する測器である．Brewer の光学系の光軸は，「光学系の光軸」が「鉛直軸」として設定した「測器の回転軸」と直角に交わった状態で設定される．そのため，光学系の光軸は常に水平を維持していなければならない．

この「光学系の光軸」を「測器の回転軸」に直角にさせる調整方法については，水銀溜を利用した光軸調整装置を開発して調整が可能となった(伊藤ほか：2001)．しかし，「光学系の光軸」そのものを調整することはできない．従来，「光学系の光軸」の調整は，対象の光が紫外域領域なので実際に肉眼で確認できず，その調整には多くの時間を費やした．そのため，紫外領域を含むレーザーを利用した光軸調整システムの導入が望まれていた．

本稿では，このシステムを紹介するとともに，光学系光軸の調整方法について説明する．この調整により，光軸調整が短時間で可能となり，より高精度の観測が可能となる．なお，Brewer の基本的構造や，測器に関する専門用語については，気象庁(1993)，Sci-Tec(1994)，Kipp & Zonen(1999)，および伊藤・宮川(2001)等を参照していただきたい．

*高層気象台 観測第三課

２．ブリューワー分光光度計の光学系

２．１ 光学系の光軸

気象庁で使用している Brewer は MKII 型(単分光方式：以下 MKII と呼ぶ)と MKIII 型(二重分光方式：以下 MKIII と呼ぶ)の二種である．MKIII の場合の光学系部品位置を Fig.1 に，このうちスリットマスク(Slit mask)付近の俯瞰図を Fig.2 に示す．図中の記号(a～r)を付した部品は，**４．**で後述する光軸調整時の調整・確認ポイントである．これらの図のように，光学系は前置光学系(Foreoptics)，分光器(Spectrometer)，光電子増倍管(Photomultiplier)で構成され，分光器は上部(Top)と下部(Bottom) の二層式となっている．以下，MKIII の光軸について説明する．

前置光学系において，太陽全天光は UV ドーム(UV-B

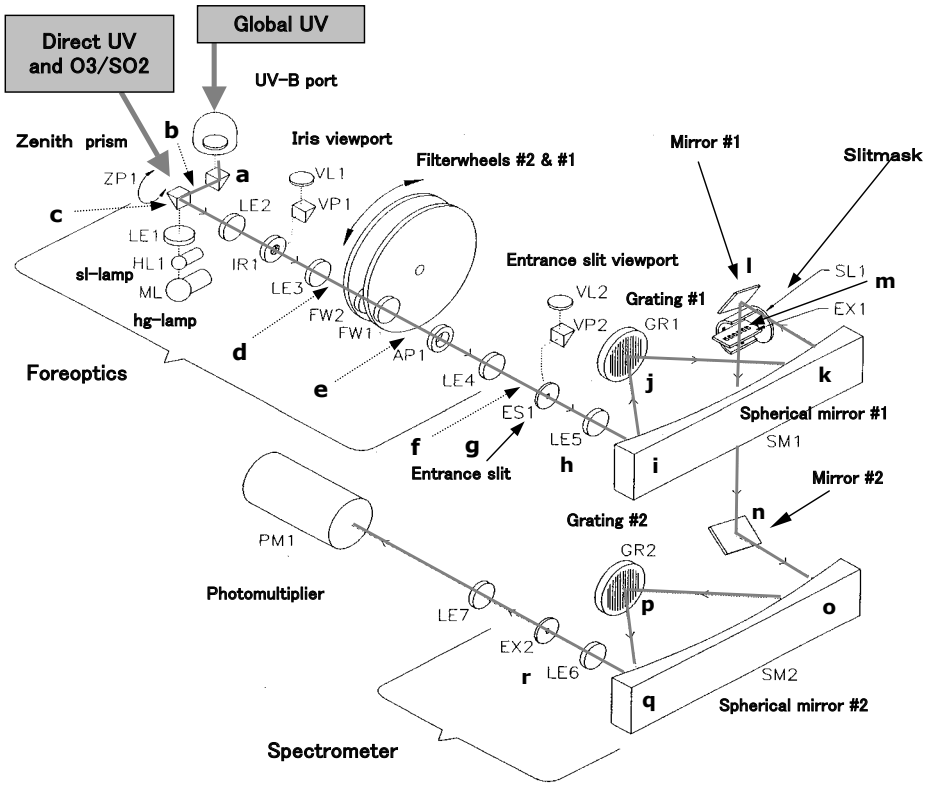

Fig. 1　Optical elements of Brewer spectrophotometer MKIII.
Points a to r : Adjustable or confirmable points for optical alignment by laser beam.　The figure is from Kipp & Zonen (1999).

port)から入射し，UV プリズム(UV prism, a)と選択プリズム(Zenith prism, b)で直角に曲げられた後，フィルター(Filter wheel)#2 と#1 を通過して分光器の入口スリット(Entrance slit, ES1)へ導かれる．太陽直射光の場合は，傾斜窓(Quartz window,　図省略)から選択プリズム ZP1 へ，また点検用ランプ(hg lamp と sl lamp)光の場合は，集光レンズ LE1 を経て選択プリズム ZP1 へ導かれ，その後は太陽全天光と同じ光路をたどる．

分光器入口スリットからの入射光は，分光器の上部(Top)において，凹面鏡(Spherical mirror)#1 で反射し，回折格子(Grating)#1 で最初の分光を行った後，再度凹面鏡#1 に反射し，反射鏡(Mirror)#1(l)で鉛直方向に曲げられスリットマスク(Slit mask)(SL1)と出口スリット(Exit slit)(EX1)へ入光する．スリットマスクで波長選択された光は，分光器の下部(Bottom)において反射鏡(Mirror)#2(n)を経て水平方向に曲げられた後，凹面鏡(Spherical mirror)#2 に反射し，回折格子(Grating)#2(GR2)で 2 回目の分光が行われ，再度凹面鏡#2 に反射し，出口スリット(Exit slit)(EX2)を経て光電子増倍管へ導かれる．

MKII の光軸の場合，前置光学系から分光器の上部までは MKIII と同じであるが，反射鏡#1 の位置にスリットマスクが設けられ，光軸は水平光のまま出口スリットを経て光電子増倍管に入光する．なお，MKIII のスリットマスクと MKII のスリットマスクは同じ部品で構成されるが，取り付け方が 90°異なる．

今回導入した光軸調整システムでは，上記の全光路についての光軸調整が可能である．

２．２ 回折格子とスリットマスク

Brewer MKII には 1mm 当たり 1800 本の回折格子(1800 gr が 1 枚, MKIII には 1mm 当たり 3600 本の回折格子(3600 gr)が 2 枚使用されている．ここで光軸の回折格子に対する入射角を α，回折格子の回折角を β，波長を λ，回折格子の溝間隔を d，干渉次数(整数)を m とすると，一般に次の関係式が成立する．

$$d\,(\sin\alpha+\sin\beta)=m\lambda$$

MKII の場合，

$$d = 1 / 1800 \text{ mm } (5.556 \times 10^{-7} \text{ m})$$

となり，当測器の分光部の構造からおおよそ

$$0.853 < (\sin\alpha+\sin\beta) < 1.440$$

であることが判っている．ここで仮に$(\sin\alpha+\sin\beta)=1.139$とすると，

m=1 のとき　$\lambda_1 = 632.8$ nm
m=2 のとき　$\lambda_2 = 316.4$ nm
m=3 のとき　$\lambda_3 = 210.9$ nm

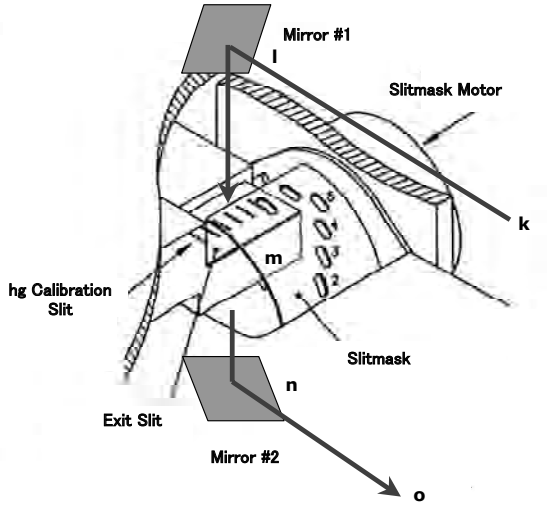

Fig. 2　Slit mask of Brewer MKIII.
Points **k** to **o**：Confirmable points for optical alignment by laser beam. The figure is from Kipp & Zonen (1999).

Table 1　Slit mask position and nominal wavelength of Brewer spectrophotometers MKII, MKIII and MKIV.

Slit Mask Position	Exit Slit Position	Wavelength Setting
0	0	hg test　302.1 nm
1	dark	dark count
2	1	306.3　(431.4)　nm
3	2	310.0　(437.3)　nm
4	3	313.5　(442.8)　nm
5	4	316.8　(448.1)　nm
6	5	320.0　(453.2)　nm
7	2 and 4	dt test

(): MKIV only

等々となる．すなわちスリットマスクの一つのスリットを通過する回折光には，一次光λ_1，二次光λ_2，・・・が混在する．ここで計測の対象は，λ_2 = 316.4 nm 付近の二次光なので他の光は必要ない．三次光λ_3より波長が短い光はエネルギー的に非常に弱く無視することができるが，長波長の一次光λ_1は無視できない．MKII の場合は，光電子増倍管(Photomultiplier)への入射口にカットオフフィルター(U11 filter)が取り付けられ，この光を除去している．

いっぽう MKIII の場合は，

$d = 1 / 3600$ mm $(2.778 \times 10^{-7}$ m)

なので，同様に$(\sin\alpha + \sin\beta)$=1.139 とすると，

m=1 のとき　λ_1 = 316.4 nm

m=2 のとき　λ_2 = 158.2 nm

m=3 のとき　λ_3 = 105.5 nm

等々となり，カットオフフィルターは必要ない．

Table 1 にスリットマスク・出口スリットの位置(position)とオゾン・二酸化硫黄全量観測時の通過光の波長を示す．ただし波長別紫外域日射量を観測する時には，出口スリット第1位置(波長 286.5～350.0nm)と第5位置(波長 350.5～363.0nm)を使用し，回折格子を回転させることによりこれらの波長を順次選択する．この表の波長は，計測対象の波長であるが，前述したように各出口スリットには対象の波長以外の回折光も通過していることになる．

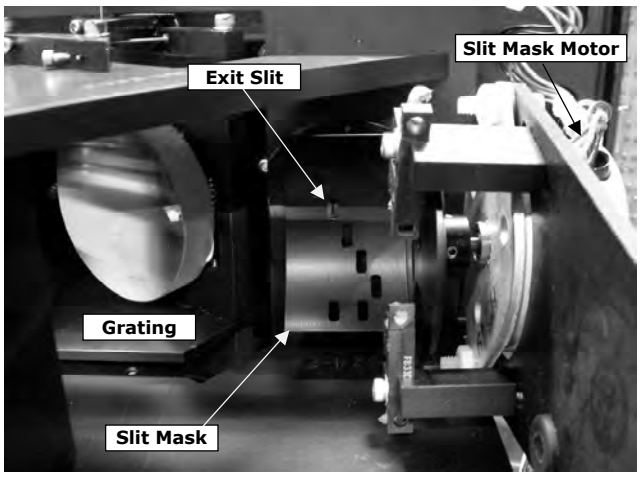

Photo. 1　Slit mask of Brewer MKII.
Red line：Spectra λ_1 (610±10 nm) of sl lamp.

２．３ 従来の光軸調整

Brewer MKII の分光器では，内部標準ランプ(sl lamp)を点灯させ，選択プリズムを 0 step(ステッピングモータのステップ数)，絞り装置(Iris)を open 位置，フィルター#2，#1 をそれぞれ 0 位置(両者とも素通し)に設定する，スリットマスク上に幅 3mm 程度の水平方向の細長い赤色光の帯が映る．これを Photo.1 に示す．この赤色光の帯が**２．２**で記述した一次光λ_1である．この光を利用し，光軸の上下方向の調整(凹面鏡の上下調整等)が可能である．しかし，この光を利用した左右の調整(波長ずれ)はできない．

MKIII の場合，回折格子が 3600gr のため上記の赤色光も見えず，光軸の上下の調整も不可能である．そのため，例えば凹面鏡の位置を調整する場合，3 つの調整ネジを微動させ，波長点検(b1ci：hg ランプ点灯後，0.1nm の走査)や照度点検(b2ci：sl ランプ点灯後，0.5nm の走査)を実施し，結果が良好になるまでこの作業を繰り返す必要がある．この点検には高度な経験が頼りとなる．また，MKII や MKIII の種類に関係なく，回折格子やスリットマスクの位置調整，前置光学系の光軸調整は，勘に頼らざるを得なかった．

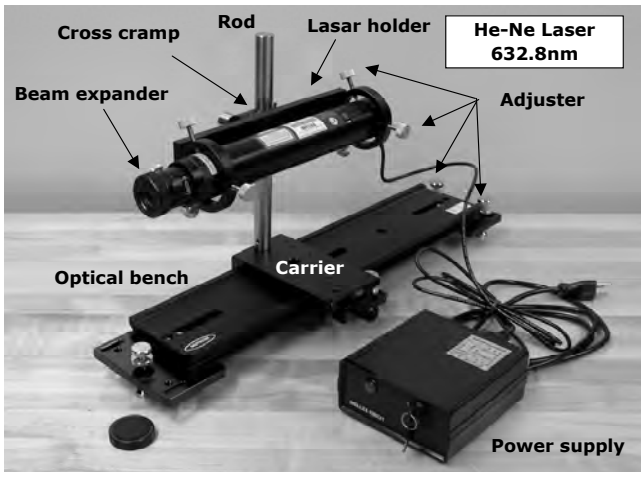

Photo. 2　He-Ne (632.8nm) laser system.

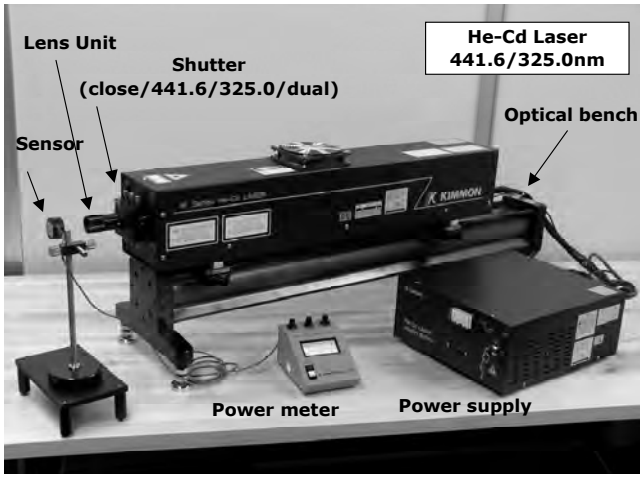

Photo. 3　He-Cd (441.6/325.0nm) laser system.

Table 2　He-Ne (632.8nm) laser system.

He-Ne Laser	
Type (SN)	Melles Griot Helium Neon Laser 05-LHP-111 (7930EO)
Wavelength	632.8 nm
Output	1mW (0.95mW)
Beam (1/e2)	0.59mm (1.77mm) (): beam expander use
Power Supply	
Type (SN)	Melles Griot Helium Neon Laser Power Supply 05-LPL-911-065 (52321)
Laser System	
Type (SN)	Mutsumi MBALS-01 (GS0060)
Focus	0.2-2.0m by expander
Frequency	150-250mm / 0-500mm (height / distance)

Table 3　He- Cd (441.6/325.0nm) laser system.

He-Cd Laser	
Type (SN)	Kinmon Helium Cadmium Laser IK5352R-D (S3253)
Wavelength	441.6nm / 325.0nm / Dual
Output	56.5 (47.5)mW / 12.0 (10.3)mW　(): filter use
Beam (1/e2)	1.27mm / 1.11mm
Beam expand	0.66mrad / 0.66mrad
Warm up time (90%)	14.0min
Power stability	1.5% (constant temp)
Noise (30k-2MHz)	4.0% / 8.8%
Weight	16Kg
Power Supply	
Type (SN)	Kinmon Helium Cadmium Laser Power supply KR1801C (P5079)
Power Meter	
Type (SN)	Kinmon Power Meter PM-100 (M411)
Lens Unit	
Type	Mutsumi He-Cd Laser Lens Unit MHECDLU-01
Beam φ	50mm（distance: 1m, 50cm）
Beam expand	1.35mrad

３．光軸調整用レーザーシステム

３．１ 概要

今回導入したレーザーシステムは，1) He-Ne (632.8nm) レーザーシステム，2) He-Cd (441.6/325.0nm)レーザーシステム，および 3) ターンテーブル一式である．1)のシステムは，主に前置光学系の調整や MKII 分光器の光軸調整に使用する．2)のシステムは，主に MKIII 分光器の光軸調整で使用する．3)のターンテーブル一式は，1)や 2)のシステムを併用し，分光器や前置光学系の光軸を水平に調整するために使用する．

３．２ He-Ne (632.8nm) レーザーシステム

He-Ne レーザーシステムは，Melles Griot 製のヘリウム-ネオンレーザー 05-LHP-111 と電源 05-LPL-911-065 (Melles Griot : 2005)，Mutsumi 製光学ベンチ等の光学システム(睦コーポレーション : 2006)で構成される．これらを Photo.2 に，主な仕様を Table 2 に示す．

He-Ne レーザーは波長 632.8nm の赤色レーザーで，肉眼で見ることができる．ビーム口に取り付けられたビームエキスパンダー(Beam expander)によりビーム径を 0.59mm から 1.77mm に拡大させ，0.2m～2m の発射距離において焦点を結ばせることが可能である．この He-Ne レーザーを光学ベンチ等の光学システムに取り付けることにより，発射光の光軸の高さや角度を簡単に調整することができる．また，電源を ON にするだけで数秒後には調整に必要な出力を得ることができ，全体の重量も軽く，設置や持ち運びも便利である．

３．３ He-Cd (441.6 / 325.0nm) レーザーシステム

He-Cd レーザーシステムは，Kimmon(金門光波)製のヘリウム-カドミウムレーザー IK5352R-D(金門光波 : 2005a, 2006c)と電源 KR1801C(金門光波 : 2005a，2006b)，同社製

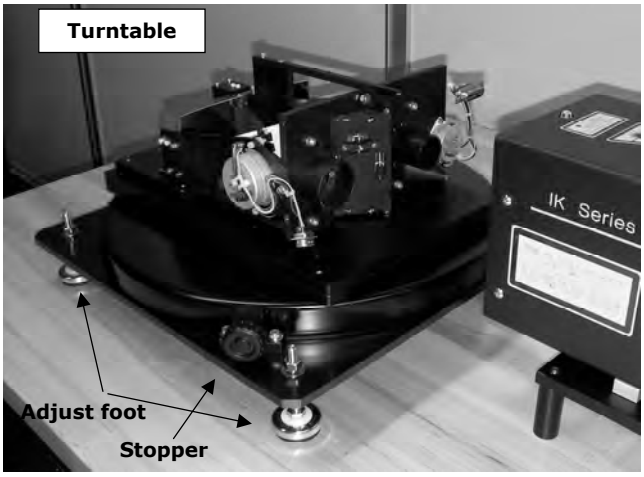

Photo. 4　Turntable with the laser system.

のパワーメーターPM-100 一式(金門光波 : 2005b, 2006a), シグマ光学の光学ベンチで構成される．これらを Photo.3 に，主な仕様を Table 3 に示す.

He-Cd レーザーは, 波長 441.6nm, 325.0nm, 双方混在(以下 dual と呼ぶ)の 3 種のレーザー光を同軸上に発射させることができる．使用するレーザー光の選択はカットオフフィルター(UV-36 / U-340)が取り付けられたシャッター(close / 441.6nm/325.0nm/dual)により行う. 使用フィルターの技術資料(Kimmon : 2006)によれば, UV-36 は波長 440nm 付近で約 87%の透過率, 340nm 以下で 0%の透過率を示し, U-340 は波長 340nm 付近で約 80%の透過率，400nm 以上と 280nm 以下で 0%の透過率を示す.

441.6nm のレーザー光は青紫色で肉眼でも確認可能であるが, 325.0nm のレーザー光は紫外領域の波長なので発光紙により確認する.

ビーム口には，平凸レンズ，平凹レンズ，スペーサーなどで構成されるレンズユニット(Lens Unit : Mutsumi 製)を装着させ, これらを調整することにより 500～1000m 先でビーム径を約 50mm に拡大させることも可能である．このユニットは，光軸調整では使用しないが，後述の Brewer 波長点検等を行う場合に使用する.

光軸調整に必要な出力を得るにはレーザーの電源 ON 後，数十分のウォームアップが必要である．出力測定には，同社製のパワーメーターを使用する．また，その出力の維持管理では，毎月 40h のウォームアップが必要とされている.

３．４ ターンテーブル一式

ターンテーブル一式を Photo.4 に示す．写真のように下部にターンテーブルを水平に調整するためのアジャストフットを設け，円板が水平に回転できるようになっている．また円板は回転ストッパで固定可能である.

４．光軸調整

４．１ 光軸調整の準備

レーザー光で Brewer の光軸調整を行う場合，下記の準備を行う.

1) Brewer の前置光学系を組立てた後，He-Ne（632.8nm）レーザーを使用して Fig.1 の a～f までのプリズムやレンズなど各種光学系の調整を行う.
2) 前置光学系を含めた Brewer の本体，方位追尾装置，三脚を組立てた後，伊藤ほか(2001)の手順に従って測器内の光軸の水平調整を実施する.
3) 各レーザー光の発射ビームが水平になるよう，水準器を用いてレーザーの筐体を水平に設置する．このときレーザー光の光軸を Brewer の光軸に一致させる.

４．２ Brewer MKIII への照射

Brewer MKIII の分光器に，３．のレーザー光を照射した例を Photo.5 に示す．この照射では，前置光学系を取り除き, 分光器の入口スリット(Entrance slit)にレーザー光を直接入射させている．また，He-Cd(441.6/325.0nm)レーザー照射の場合には，レンズユニットは使用していない.

Photo.5 の左列 a-1～a-6 に He-Ne（632.8nm)レーザー照射例, 中央列 b-1～b-6 に He-Cd (441.6nm)レーザー照射例, 右列 c-1～c-6 に He-Cd (325.0nm)レーザー照射例を示す. なお左端に示す point 番号は，Fig.1 と Fig.2 に示す照射ポイントであり，写真最上段の a-1～c-1 は，簡易的に本体だけを設置した場合である.

(a) He-Ne (632.8nm)レーザーの照射

He-Ne (632.8nm)レーザーは，a-2 の通り赤色光であるが, 入口スリットから入射した光は a-3 のように凹面鏡の point-i に映される．この像は数 mm の縦長細線となるが, これは入口スリットが映し出されたものである．またこのレーザー光は a-3 の手前側の回折格子で分光されるが, 再度凹面鏡に当たる point-k 以降の a-5 や a-6 の各 point に入射することはない．すなわち回折光は，Brewer の入射角 α と 3600gr との関係で，凹面鏡手前から回折格子に延びる目隠し板の右側(a-3 の右半分)に回折する．この目隠し板は，回折された光の分光器右側における反射光が, 左側の分光部に入光することを防いでいる.

a-4 では point-h の修正レンズに赤色レーザー光が映る．レーザー光が，レンズ中心部に位置しない場合には，入口スリットからこの修正レンズまでの光軸を調整する.

なお，point-j の回折格子付近にも赤色光が見られるが，これは分光された光が他の部品に反射したものである．

以上のように，He-Ne（632.8nm)レーザーは，前置光学系から分光器の修正レンズまでの光軸調整に利用することができる．

(b) He-Cd (441.6nm)レーザーの照射

He-Cd (441.6nm)レーザーは，b-2 の通り青紫色光であり，(a)と同様，b-3 の凹面鏡の point-i に映されるが，point-k 以降の b-5 や b-6 の各 point に入射することはない．b-5 と b-6 は，point-m のスリットマスク上，point-r の出口修正レンズ上にそれぞれレーザー発光紙を置いた場合であるが，この部分で発光することはない．

以上のように He-Cd（441.6nm)レーザーは，(a)と同様，前置光学系から分光器の修正レンズまでの光軸調整に利用することができる．

(c) He-Cd (325.0nm)レーザーの照射

He-Cd（325.0nm)レーザーは，紫外領域の光なので，前述の(a)や(b)のように肉眼で見ることはできない．ただし c-2 の凹面鏡の point-i では微弱ながら発光し，かすかな縦長細線が映し出される．なお，この縦長細線の位置は，(a)の He-Cd (441.6nm)レーザーによる位置と一致するので，レーザーのシャッター切り換えによるビーム光軸のずれはないものと判断される．

当レーザーは，発光紙を置けば光路のどこでも簡単に映し出すことが可能である．c-5 と c-6 は(b)と同様に point-m のスリットマスク上，point-r の出口修正レンズ上にそれぞれレーザー発光紙を置いた場合である．映像の位置により，分光器の凹面鏡や回折格子の位置調整が可能となる．例えば，スリットマスクの各スリットへの入光は，回折格子を回転させるマイクロメーターとスリットを，手動あるいは tt-mode(DOS 上で直接作動させるコマンド)で目的のステップ数にそれぞれ設定すればよい(伊藤ほか：2003)．これらの設定により，スリットの中心部にレーザー光が入光するよう調整される．

以上のように，He-Cd（325.0nm)レーザー光は肉眼で見ることはできないが，発光紙を置くことにより，前置光学系を含め分光器全体の光軸調整に利用することができる．また当レーザー光は，He-Cd（441.6nm)と同じ光軸に発射されるので，レーザー光を入口スリットに入光させる際には，レーザーのシャッターを 441.6nm にして光軸を整えた後，325.0nm に切り換えて point-i より後の光路の調整を行える．

４．３ Brewer MKII への照射

Brewer MKII の分光器に照射した例を Photo.6 に示す．照射要領，Photo.6 の並びは**４．２**及び Photo.5 と同様である．

(d) He-Ne (632.8nm)レーザーの照射

He-Ne（632.8nm)レーザーの照射については，point-i まで**４．２(a)** と同様であるが，d-3 に見られるように point-k に point-i と同じ縦長細線の像が映し出されるとともに，d-5 のスリットマスクにも映し出される．これは**２．２**で述べた回折一次光 λ_1 である．すなわち，この場所に目的の二次光 λ_2 の 316.4nm のレーザー光も重なっていることになる．316.4nm の波長を持つレーザー光であれば，Table 1 で示されるように，回折格子がオゾン・二酸化硫黄全量観測の位置にある場合，スリットマスクの第 5 位置(316.8nm)のすぐ左側に入光することになる(注：写真 d-5 は手動で第 2 位置に移動している)．他の位置となった場合には，波長ずれ(左右のちがい)や光路ずれ(上下のちがい)が発生していることになる．

このように，He-Ne(632.8nm)レーザーを用いると，MKII の場合，前置光学系から分光器までの光軸調整に利用することができる．

(e) He-Cd (441.6nm)レーザーの照射

He-Cd（441.6nm)レーザーを MKII に照射した場合，(b)と同様，青紫色光が e-3 の凹面鏡の point-i に映される．しかし，回折格子以降の光路では(b)と同様，point-j 以降の各 point に入射することはない．e-3 では，point-i の左横にもう一つの青紫色光の像が認められるが，これは回折一次光 λ_1 である．すなわちこの場所に，二次光 λ_2 の 220.8nm の光が重なっていることになる．Brewer の場合，この波長帯は対象外である．

以上のように He-Cd（441.6nm)レーザーは，MKIII と同様，前置光学系から分光器の修正レンズまでの光軸調整に利用することができる．

(f) He-Cd (325.0nm)レーザーの照射

He-Cd（325.0nm)レーザーを MKII に照射した場合，MKIII の**(c)** とほぼ同様の結果となる．発光紙を用いれば光路のどこでも映し出すことが可能で，スリットマスクの各スリットにも入射させることができる．

このように，He-Cd（325.0nm)レーザーは，前置光学系を含め分光器全体の光軸調整に利用することができる．

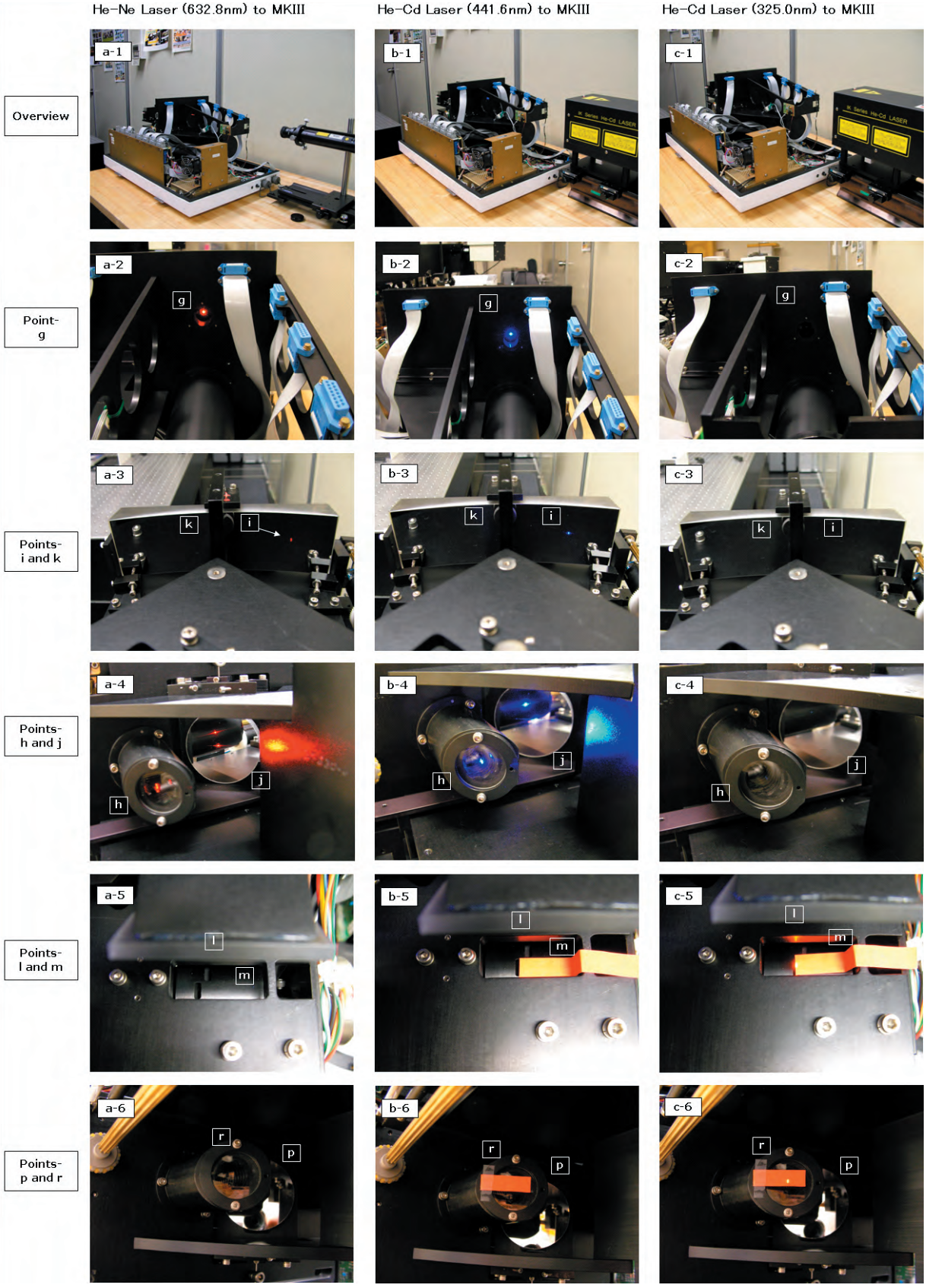

Photo. 5　Optical alignment of Brewer MKIII by the laser systems.
a-1 to **a-6**: He-Ne (632.8nm) laser. **b-1** to **b-6**: He-Cd (441.6nm) laser. **c-1** to **c-6**: He-Cd (325.0nm) laser.
Numbers correspond to the numbers in Figs.1 and 2.

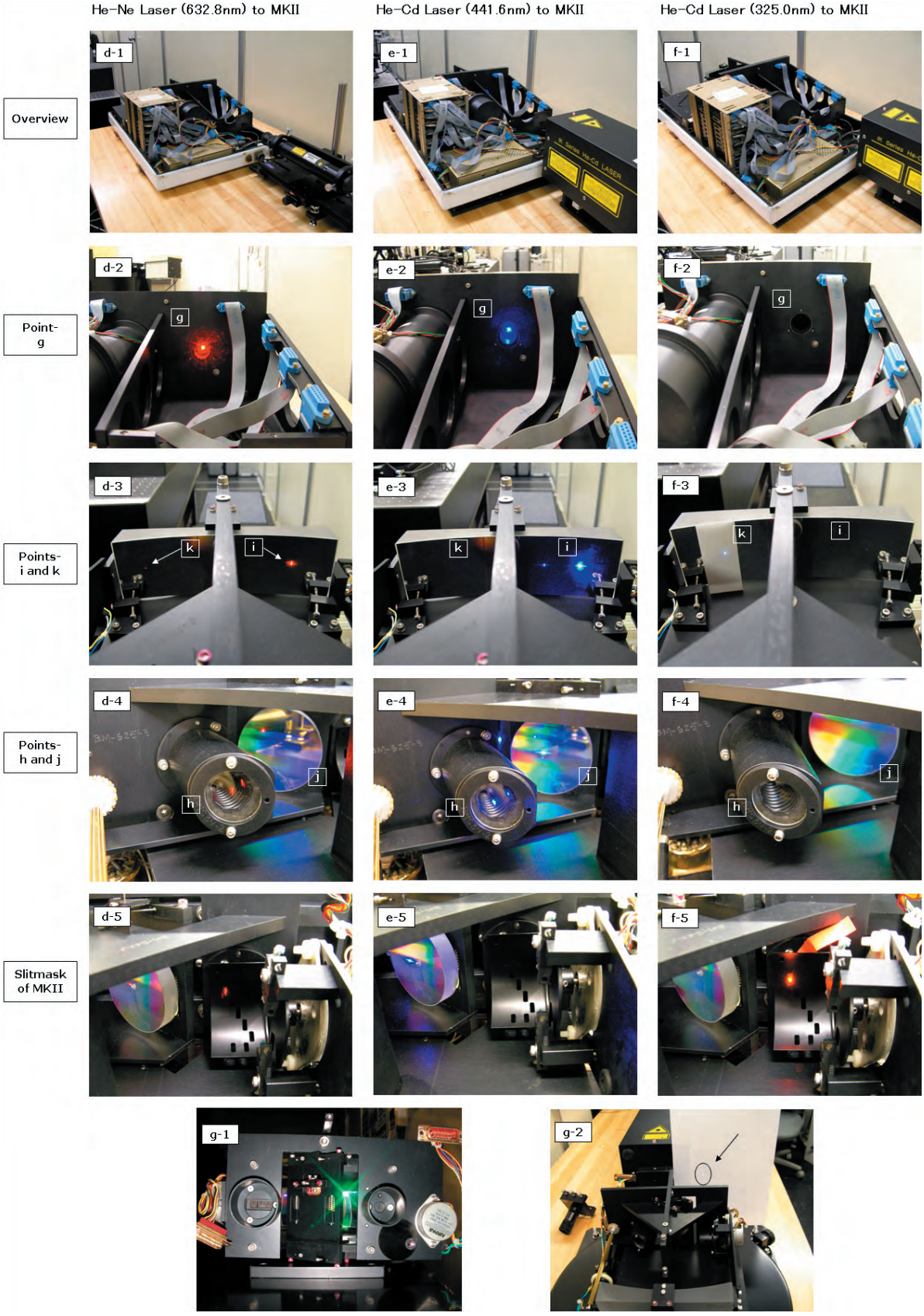

Photo. 6 Optical alignment of Brewer MKII by the laser systems.
a-1 to **a-6**: He-Ne (632.8nm) laser. **b-1** to **b-6**: He-Cd (441.6nm) laser. **c-1** to **c-6**: He-Cd (325.0nm) laser.
Numbers correspond to the numbers in Figs.1 and 2.

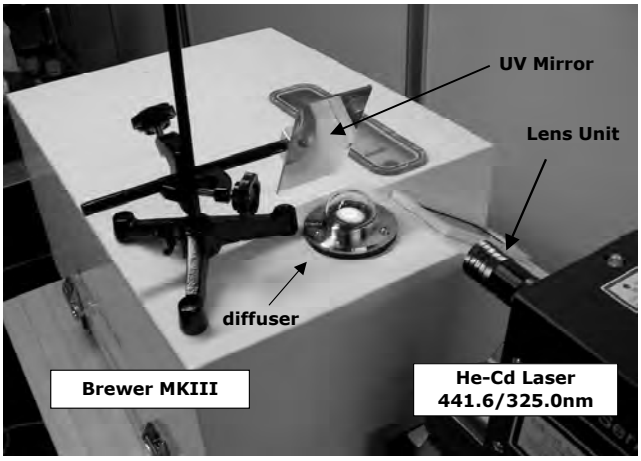

Photo. 7　Laser irradiation of Brewer UV-dome (diffuser).

４．４ ターンテーブルの利用法

ターンテーブルは，**３．４**で述べたようにターンテーブル上面が水平になるようアジャストフットを調整した後，Photo.4に示したようにBrewerの分光器をその光軸が水平になるように設置する．このときレーザー光を水平に発射し，回転させながら分光器の高さ位置を調整すれば，分光器内の光軸の高精度な水平化が可能となる．

Photo.6 の最下段の g-1 と g-2 に，MKII 分光器の調整例を示す．これらの写真は，He-Cd（325.0nm)レーザーを入口スリットから入射させ，出口スリットから出射させた例である．水平のレーザー光が出口スリット中央部から出射しているので，分光器内部の光軸は水平となる．g-2 では，出射させた光が発光紙(写真では普通紙)上でスリットの形として映し出されている．なおこのテーブルは，前置光学系の光軸調整にも使用することができる．

５．光軸調整システムの波長ずれ点検への活用

He-Cd（325.0nm)レーザーの照射波長は，Brewer の走査範囲の波長なので，Brewer の走査波長の点検や波長確度(Spectral resolution)の点検に有効である．これらの点検を行う場合は，**３．３**で述べたレンズユニットを装着させてレーザービームを拡大させた後，UV 反射鏡を用いて垂直光にして UV-ドームに照射させる．ビームの拡大は UV-ドーム下部の拡散板(Diffuser)全体を覆う程度がよい．Photo.7 に照射例を示す．

Brewer の走査は，内部標準ランプによるマイクロメーター同調点検(hp-点検：MKIII のみ)，および水銀ランプ点検(hg-点検)の後，この走査用に作成した制御プログラム(波長幅 0.1nm の走査：cl-点検)で行う．点検結果の例を Fig.3 に示す．Fig.3 上図の縦軸は通常の光子計数率(1 秒あたりの光子数)で，下図は対数目盛りで示したものである．

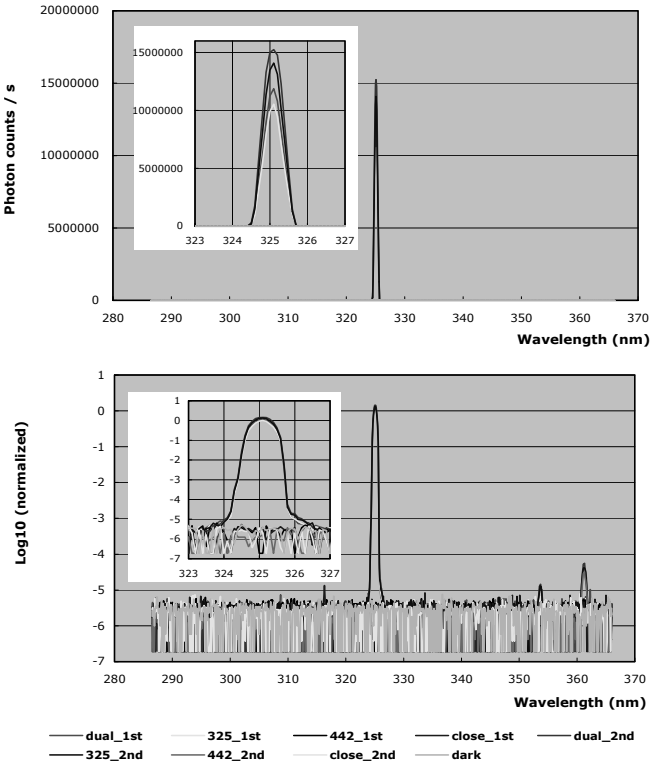

Fig. 3　Results of irradiating Brewer MKIII #174 with He-Cd (325.0nm) laser.
Upper figure: Photon counts/s.　Lower figure: Normalized photon counts.

図の通り，波長 325.0nm 付近でシャープな光子数の増大が見られる．これは MKIII の BR#174(測器番号)の例であるが，325.1nm にピークが認められ，0.1nm 波長がずれていることがわる．また波長分解能(FWHM：山型ピークの縦半分のところの波長幅)は，約 0.5nm となる．

当走査では，He-Cd（325.0nm)レーザーのシャッターを close，dual，325.0nm，441.6nm，および暗闇 dark の 5 種を各 2 回実施した．その結果，上図の通り，dual と 325.0nm の強度は，レーザーのウォームアップの時間差による誤差範囲に入り区別できなかった．また下図の通り，362nm 付近と 353nm 付近に極く微弱なピークが認められた．この原因については，今後の課題としたい．また,レーザー照射により，Brewer の迷光試験が可能であるが，結果は改めて報告する．

６．まとめ

本稿では，Brewer 光軸調整用に導入した，1) He-Ne (632.8nm)レーザーシステム，2) He-Cd（441.6/325.0nm)レーザーシステム，および3)ターンテーブル一式について，システムの概要および導入試験結果は以下の通りである．

(1) He-Ne (632.8nm)レーザーシステムは，光軸設定も容易で，MKIII および MKII の前置光学系の調整や，MKII 分光器の光軸調整に有用である．後者の場合，Brewer の測定波長帯の回折二次光(316.4nm)と同光軸上の肉眼で見える一次光(632.8nm)を利用することができる．

(2) He-Cd (441.6/325.0nm)レーザーシステムは，441.6nm，325.0nm，dual(双方)の照射が可能であり，これらのレーザーは同軸上に発射されていることを確認した．441.6nm レーザーの照射は，MKIII および MKII の前置光学系の調整や，両測器の分光器入口の修正レンズまでの光軸の調整に有用である．325.0nm レーザーの照射は，発光紙を利用することにより，両測器の前置光学系と分光器の全ての光軸調整が可能である．また，325.0nm レーザーを使用するときは，肉眼では見えないので，先ず可視域の 441.6nm レーザーを使用して分光器入口までの光軸を調整・確定した後，325.0nm レーザーに切り換えるとよい．ただし，このシステムを利用して各種点検を実施する場合には，ウォームアップを充分に行い，出力を安定させなければならない．

(3) ターンテーブルは，(1)と(2)のレーザーを使用することにより，分光器だけではなく前置光学系の光軸調整にも有効である．

(4) He-Cd (441.6/325.0nm)レーザーシステムの 325.0nm の照射では，Brewer の波長ずれ，波長分解能，等々の試験が可能である．

これらのシステムの導入により，従来勘を頼りに数週間～数ヶ月を費やしていた光軸調整が，数日で実施することができるようになった．今後，測器の波長分解能や迷光特性等，このシステムの利用範囲を拡げていく予定である．

謝　辞

本稿を草するに際し，カナダ国環境省気象局(MSC)の Mr. Tom Grajnar と Mr. Michael Brohart 両氏にはレーザーの情報を教示していただいた．(株)睦コーポレーションの武藤一義氏には，レーザーシステムの導入で多くのご助言を賜った．高層気象台の松原廣司台長，観測第三課の廣瀬保雄課長には数々のご助言を賜り，本庁オゾン層情報センターの江崎雄治係長には機器類の調達等でお世話になった．これらの方々に厚くお礼申し上げます．

引 用 文 献

伊藤真人・宮川幸治(2001)：二重分光光度計 MKIII による紫外域日射観測．高層気象台彙報, **61**, 5 - 28.

伊藤真人・Ken Lamb・能登美之(2001)：ブリューワー分光光度計用光軸調整装置．高層気象台彙報, **61**, 37 - 42.

伊藤真人・Vladimir Savastiouk・Michael Brohart (2003)：ブリューワー分光光度計用分光常数校正装置の開発と手法．高層気象台彙報, **63**, 31 - 40.

金門光波(2005a)：He-Cd レーザー装置取扱説明書，IK3，4，5 シリーズ，電源 KR1801C$_{5001}$．(株)金門光波, 37pp.

金門光波(2005b)：パワーモニタ取扱説明書，PM-100，PM-300．(株)金門光波, 4pp.

Kimmon (2006) : Technical data, spectral diabatie curves of color filter glass. *Kimmon electric co. ltd.*, 1pp.

金門光波(2006a) : PM-100 Test Record. (株)金門光波, 1pp.

金門光波(2006b) : レーザ電源試験成績書. (株)金門光波, 1pp.

金門光波(2006c) : レーザヘッド試験成績書. (株)金門光波, 8pp.

Kipp & Zonen (1999) : Brewer MKIII spectrophotometer operator's manual, OM-BA-C231 Rev. B. *Kipp & Zonen Inc.*, *Canada*, 135pp.

気象庁(1993)：紫外域日射観測指針．気象庁, 83pp.

Melles Griot (2005) : Operating instructions. *Melles Griot Inc.*, *Canada*, 1pp.

睦コーポレーション(2006) : 光軸調整用レーザ光源仕様書. (株)睦コーポレーション, 2pp.

Sci-Tec (1994) : Brewer MKII spectrophotometer operator's manual, OM-BA-C05 Rev. H. *Sci-Tec Instrument Inc.*, *Canada*, 102pp.